WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Построение одномерных компьютеров помогает глубже понять некоторые сложные явления

А. К. ДЬЮДНИ

СЕЙЧАС, когда нас повсюду окружают компьютеры, сделанные человеком, уместно задать вопрос: а нет ли в мире, в котором мы живем, компьютеров, сотворенных самой природой? Созданные из воды, ветра и дерева (не говоря о всех других), эти вычислительные машины могут булькать, вздыхать или тихо расти, и мы даже не подозреваем, что это есть проявление сложных интенсивных вычислительных процессов, которые трудно интерпретировать в привычных для нас понятиях. Конечно, эти природные вычислительные системы не проводят расчетов в обычном понимании данного слова, однако в самой структуре таких систем заложена скрытая, или латентная, возможность делать вычисления.

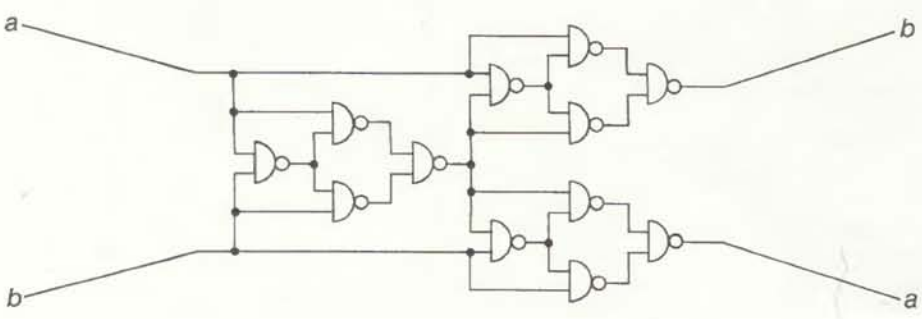
Выразителем этой точки зрения является Стивен Уолфрэм, физик-теоретик из Принстонского института перспективных исследований. Уолфрэм отмечает, что турбулентное течение жидкости или развитие растения представляют собой совокупность элементарных процессов, взаимодействие которых приводит к явлениям, настолько сложным, что мы не можем описать их математически. Эта особенность природных систем следует из их способности хранить, передавать и обрабатывать информацию, другими словами, из способности вычислять. В ноябрьском номере нашего журнала за прошлый год была помещена статья Уолфрэма, в которой автор говорит о применении клеточных автоматов для изучения способностей природных вычислительных систем. Он предлагает найти клеточный автомат, который мог бы вычислять и в то же время моделировал бы ту или иную природную систему. Свои поиски Уолфрэм сосредоточил на простейшей разновидности клеточных автоматов, а именно на устройствах, имеющих только одно измерение.

Такие автоматы состоят из простых элементов; их комбинация создает сложные структуры, в которых происходят специфические процессы. Уолфрэм предполагает, что среди подобных автоматов скрываются и настоящие вычислительные машины, огромные линейные массивы клеток, мгновенно переключающиеся из одного состояния в другое и выполняющие любые вычисления, на которые способен трехмерный компьютер. Занимаясь поисками среди мириадов одномерных клеточных автоматов, Уолфрэм не станет пренебрегать помощью, которую могут оказать ему в этом смелом и трудном исследовании любители. О некоторых результатах поиска природных компьютеров я и хочу рассказать в этой статье.

Вначале давайте совершим короткое путешествие из трехмерного пространства в невероятно тесный мир, ограниченный одним измерением. Хорошей отправной точкой для нашего путешествия может служить трехмерный компьютер, ставший уже непременной принадлежностью предприятий, институтов, учреждений и даже квартир. Он представляет собой сложную комбинацию простых элементов. Мы говорим здесь не об устройствах ввода-вывода информации, а о самом сердце машины, крошечном кремниевом кристалле, содержащем тысячи логических вентилей, ячеек памяти, регистров и других компонентов. Все они соединяются между собой очень тонкими проводниками. Хотя электронные схемы прилегают к поверхности кристалла, это не означает, что компьютер представляет собой двумерное устройство. Во-первых, когда два проводника пересекаются, один из них должен пройти под другим так, чтобы они не касались. Во-вторых, кремниевая подложка схемы играет важную роль в реализации функций каждого логического элемента.

Двумерные компьютеры можно встретить лишь в пространствах, имеющих два измерения, таких, например, как «планимир», населенный племенем ардеанов* (см. библиографию на с. 116). Ардеане, очевидно, смогли создать двумерную вычислительную машину из однотипных логических элементов, называемых вентилями И-НЕ. Выходной сигнал такого вентиля равен 1, если хоть один входной сигнал равен 0. При помощи таких вентилей можно не только построить компьютер, но и решить каверзную задачу о пересекающихся соединениях. Ардеане изобрели специальную плоскую схему из 12 вентилей И-НЕ, обладающую следующим свойством: если два сигнала поступают на вход в последовательности *ab*, то на выходе они появляются в порядке *ba* (см. рисунок внизу). Таким образом, два сигнала могут пересекаться, не мешая друг другу, даже если для физических линий такое соединение невозможно. Отметим в то же время, что поставленную задачу о пересечении сигналов можно решить с помощью не 12 вентилей, а с меньшим их числом, и ардеане будут благодарны читателям, которые смогут построить более простую схему из вентилей И-НЕ, пропускающую пересекающиеся сигналы.

Существует также дискретное двумерное пространство под названием «Жизнь» — игра, изобретенная Джоном Х. Конвеем, известным ученым, математиком из Кембриджского университета. Читатели, наверное, помнят его интересные задачи в статьях Мартина Гарднера, публиковавшихся ранее в рубрике «Математические игры». В статье, опубликованной в журнале «В мире науки» № 12 за 1983 г., Б. Хэйес описал, каким образом можно реализовать эту игру в виде несложной программы для вычислительной машины. Пространство «Жизни» представляет собой беско-



Как сигналы могут пересекаться в двумерном компьютере

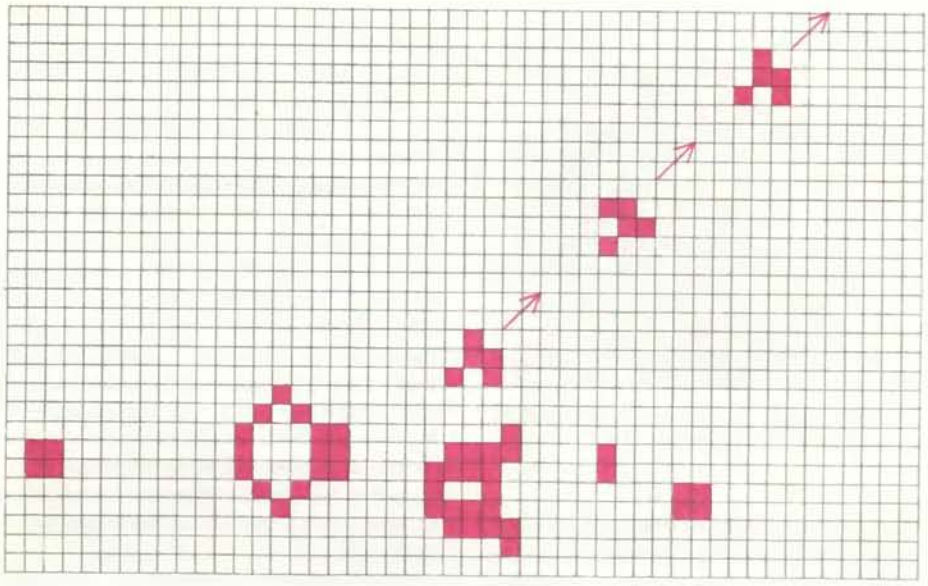
* Существа, населяющие двумерную вселенную, описанию которой посвящена книга А. К. Дьюдни «Планимир: контакт с двумерным миром с помощью компьютера». Рецензия на эту книгу опубликована в журнале «В мире науки», 1984, № 11, с. 137. — *Прим. ред.*

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

нечную плоскую решетку квадратных ячеек-клеток, состояние которых определяется состоянием соседних клеток. Время в этой игре также дискретно, и в промежутках между двумя тактовыми сигналами космических часов каждая клетка либо жива, либо мертва в зависимости от следующих условий:

если клетка мертва в момент времени t, она оживает в момент $t + 1$ тогда и только тогда, когда трое из ее восьми соседей были живыми в момент t;

если клетка была жива в момент времени t, она погибает в момент $t + 1$ тогда и только тогда, когда меньше чем две или больше чем три соседние клетки были живы в момент t.



Катапульта Р. Госпера в действии

Согласно этой системе правил, действующих во всем пространстве игры «Жизнь», исходная конфигурация живых клеток может бесконечно расти, войти в бесконечно повторяющийся цикл изменений или полностью погибнуть. После более десяти лет экспериментирования энтузиасты игры пришли к выводу, что она значительно сложнее, чем казалось в первое время.

Оказалось, например, что в клеточном пространстве «Жизни» можно построить вычислительные машины. Это свойство игры проявлялось постепенно, шаг за шагом, в течение нескольких лет. В 1969 г., вскоре после того как Конвей изобрел игру, он открыл небольшое устойчивое образование клеток, которое назвал планером. Это образование появляется в своей первоначальной форме через каждые четыре поколения, переместившись на одну клетку по диагонали. На дисплее компьютера, выполняющего быстродействующую программу моделирования «Жизни», планер выглядит маленьким фантастическим существом, которое виляет хвостом, проползая по экрану. Оно перемещается со скоростью, равной четверти скорости света (соответствующей клеточному миру).

Когда был открыт планер, никто сразу не догадался, что по существу он представлял собой средство передачи данных для двумерного компьютера, работающего в пространстве «Жизни»: вместо электронных импульсов здесь можно использовать планеры!

Следующий шаг в методологию построения двумерных компьютеров сделал Р. Госпер-младший, когда в 1970 г. он вместе со своими коллегами открыл «катапульту», стреляющую планерами (см. рисунок вверху). В то время, будучи студентом Массачусетского технологического института, Госпер хотел получить приз в 50 долл., учрежденный Гарднером за доказательство существования такой исходной конфигурации, которая растет неограниченно во времени и пространстве. Через каждые 30 тактов катапульта Госпера выбрасывала новый планер. Вместе с выпущенными планерами катапульта представляла собой неограниченно растущую конфигурацию живых клеток.

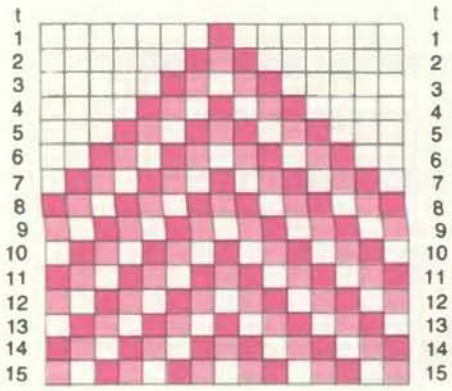
Помимо Госпера в МТИ были и другие студенты, увлекавшиеся в свободное время игрой «Жизнь». Один из них — М. Билер, которого особенно интересовала аналогия между этой игрой и физикой элементарных частиц. Билер направлял пучок планеров на различные мишени и тщательно регистрировал результаты — иногда «холостые», а иногда и очень эффектные столкновения. Он пробовал даже направлять планеры друг на друга при различных условиях. Его настойчивость была вознаграждена: несколько раз он наблюдал случаи, имевшие практическую пользу.

Одним из таких случаев можно считать взаимное уничтожение планеров при их столкновении. Этот факт открывал путь к построению еще одной компоненты компьютера — логического вентиля. Простейшим вентилем является схема, осуществляющая логическую операцию отрицания НЕ. Вентиль НЕ меняет входной сигнал на противоположный: 0 на входе превращается в 1 на выходе, и наоборот. В пространстве игры «Жизнь» вентиль НЕ строится следующим образом. Пусть катапульта выпускает планеры в каком-то определенном направлении. Двоичные числа, являющиеся входными для вентиля НЕ, кодируются во втором потоке планеров, направленном под прямым углом к первому. Во входном потоке присутствие планера интерпретируется как 1, а отсутствие — как 0. Эти два потока пересекаются таким образом, что при встрече двух планеров последние взаимно уничтожаются. Это означает, что планер, приходящий во входном потоке, образует дырку в исходном потоке, превращая присутствующий планер (1) в отсутствующий (0). В свою очередь отсутствие планера во входном потоке позволяет планеру в исходном потоке проходить беспрепятственно. Таким образом, 0 превращается в 1. Интересно отметить, что сам вентиль, по существу, не имеет никакой структуры, если не считать катапульты, выпускающей планеры, которая является всего лишь местом, где встречаются планеры двух потоков (см. рисунок на с.110). Построение вентилей других типов, таких, как И и ИЛИ, также основано на взаимодействующих потоках планеров, однако их конструкция слишком сложна, чтобы привести здесь ее описание.

Память и различные регистры строятся на взаимодействии планеров, объединенных в конфигурации из четырех ячеек, называемые блоками. Один бит информации кодируется в памяти позицией блока. Блок может передвигаться вперед и назад также при помощи планеров. Двух планеров, движущихся в специально подобранном направлении, оказывается достаточно, чтобы после столкновения передвинуть блок на три клетки в фиксированном направлении. Чтобы вернуть блок на прежнее место, нужно выпустить в него десять планеров, движущихся также в тщательно подобранном направлении.

Очень увлекательны и остальные этапы построения компьютера, потребовавшие от конструкторов большой изобретательности. Обо всем этом читатель сможет прочесть в пре-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODU.RU



Катапульта в одномерном автомате «Волна»

красной книжке, посвященной математическим играм, "Winning Ways for Your Mathematical Plays", приведенной в библиографии (см. с. 116). Книга поделена на три раздела: игры для двух человек, игры для одного человека и игры, проходящие без участия человека. Игру «Жизнь» читатель найдет в последнем разделе.

Чтобы сделать завершающий шаг в нашем путешествии к одному измерению, осталось рассмотреть лишь клеточные пространства. Трудно себе представить, каким образом ардеане смогли бы свести свой компьютер к одной-единственной прямой линии. На первый взгляд клеточное пространство выглядит почти таким же ограничительным, как прямая линия. Однако уменьшение размерности компенсируется тем, что теперь мы не ограничены каким-то одним набором правил. Напротив, нам предоставлена возможность самим определять свои собственные правила. Возникают и некоторые дополнительные компенсирующие факторы, связанные с простотой, присущей подобным линейным пространствам. Отметим также, что можно легко следить за развитием событий. Сотни поколений можно охватить одним взглядом: исходная конфигурация изображается на отрезке прямой, а вычисленные последующие поколения могут быть представлены на следующих строчках страницы или экрана дисплея. Таким образом можно построить диаграмму пространства — времени.

Одномерный клеточный автомат (ниже мы будем называть его просто автоматом) состоит из бесконечной полосы клеток, меняющих свое состояние согласно заданному набору правил. Как и в игре «Жизнь», на каждом такте космических часов клетки переходят к новому состоянию, определяемому их предыдущим состоянием, а также предыдущим состоянием их соседей. Автомат определяется заданием двух чисел k и r и набором правил для вывода следующего состояния клетки. Число k указывает, сколько состояний может иметь каждая клетка. В игре «Жизнь» таких состояний было всего два, так что k равно 2. Для рассматриваемых автоматов характерны более высокие значения k. Число r определяет размер окрестности, влияющей на вычисление следующего состояния клетки. Таким образом, следующее состояние клетки определяется ее собственным состоянием на данный момент и состояниями r ее соседей с каждой стороны. Например, если r равно 2, а k равно 3, то, согласно некоторому правилу, если окрестность данной клетки имеет вид

0	2	1	1	0

следующее состояние клетки, находящейся в центре, будет

2

Правила, определяющие данный автомат, должны решать судьбу клетки для всевозможных конфигураций состояний, наблюдающихся у клеток ее окрестности. Количество возможных наборов правил зависит от значений k и r и может быть колоссальным. Например, даже при таких низких значениях k и r, которые были приведены выше, количество возможных автоматов превышает их число во вселенной.

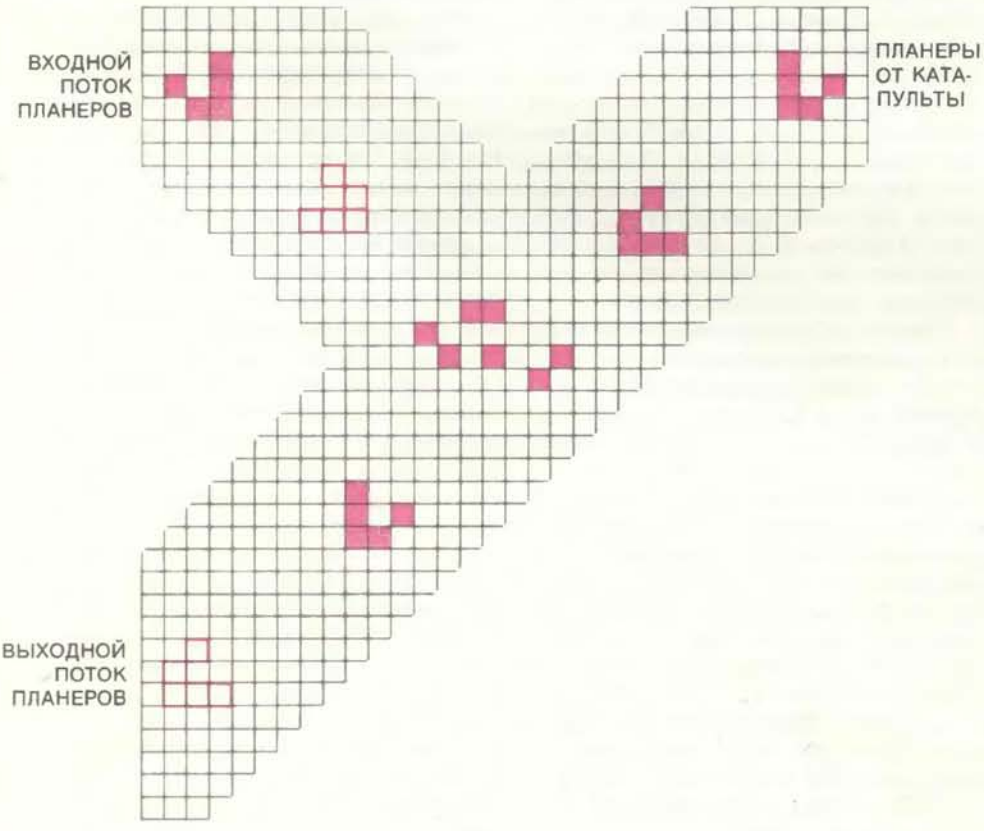
Каждый житель может выбрать себе по душе свой собственный, отличный от других автомат. Я уже сделал свой выбор. По причинам, которые станут ясны несколько позже, мой автомат был назван «Волна». Этот автомат позволяет каждой клетке иметь три состояния. Каждая окрестность состоит из трех клеток — центральной и двух соседних по разные стороны от нее. Набор правил у «Волны» очень прост:

1. Если данная клетка находится в состоянии 0, ее следующим состоянием будет 2, если сумма состояний двух прилегающих к ней клеток больше или равна 2. В противном случае ее следующим состоянием будет 0.

2. Если клетка находится в состоянии 1, ее следующим состоянием будет 0.

3. Если клетка находится в состоянии 2, ее следующим состоянием будет 1, если одна из прилегающих к ней клеток находится в состоянии 0. В противном случае ее следующим состоянием будет 2.

Конечно, я уверен, что «Волна» не станет столь же популярной, как «Жизнь». Назначение «Волны» заключается лишь в том, чтобы проиллюстрировать некоторые наиболее интересные возможности, которыми обладают одномерные клеточные автоматы. Например, «Волна» имеет свои простые планеры и еще более простую катапульту (см. верхний рисунок).



Вентиль НЕ в игре «Жизнь»: когда планеры есть на входе, их нет на выходе

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODRU

Предположим, что все клеточное пространство «Волны» находится в состоянии 0, за исключением двух прилегающих друг к другу клеток. Клетка, расположенная слева, находится в состоянии 2, а та, что справа, — в состоянии 1. У следующего поколения клеток это образование передвинется на одну клетку влево. При отсутствии возмущающих воздействий этот двуклеточный планер будет тихо и спокойно плыть в левом направлении до бесконечности. Если поменять местами исходные состояния клеток, то мы получим планер, движущийся в правом направлении. Катапульта, запускающая планеры, состоит всего лишь из одной клетки, находящейся в состоянии 2. Эта клетка проходит через цикл состояний 1, 0 и затем снова 2, запуская по два планера при каждом прохождении цикла. Интересно, сможет ли кто-нибудь из читателей построить в «Волне» катапульту, которая выпускала бы планеры все время в одном и том же направлении?

Если две такие катапульты начинают работать одновременно, то получается довольно странное явление. В результате «взрыва», вызванного столкновением, планеры уничтожают друг друга, но вместо них появляются другие планеры, движущиеся в противоположных направлениях. Если катапульты находились на расстоянии, на котором уменьшается четное число клеток, то количество вторичных планеров оказывается равным этому числу. В противном случае (когда на данном расстоянии уменьшается нечетное число клеток) в середине остается одна катапульта, выпускающая планеры бесконечным потоком.

«Волна» — это лишь один из возможных одномерных автоматов. Что же можно сказать об остальных? Количество возможных наборов правил значительно сокращается, если принять предложенное Уолфрэмом ограничение и рассматривать только те правила, которые он назвал тоталистическими. Это означает, что следующее состояние данной клетки определяется только суммой состояний клеток, образующих окрестность (включая состояние данной клетки). Возможное значение суммы варьирует в пределах от 0 до m, где m — наибольшее возможное состояние, умноженное на число клеток, составляющих окрестность. Для того чтобы полностью определить автомат, нужно указать, каким образом значение суммы состояний клеток, образующих окрестность, определяет следующее состояние центральной клетки.

Очень интересный автомат получается, например, при тоталистических правилах, приведенных в следующей таблице:

сумма	5	4	3	2	1	0
следующее состояние	0	1	0	1	0	0

Значения k и r здесь равны 2. Возможные значения суммы состояний клеток, входящих в пятиклеточную окрестность, варьируют в пределах от 0 до 5. Уолфрэм называет этот набор правил «числом 20», потому что 6 возможных последующих состояний в таблице представляют число 20, записанное в двоичной системе счисления.

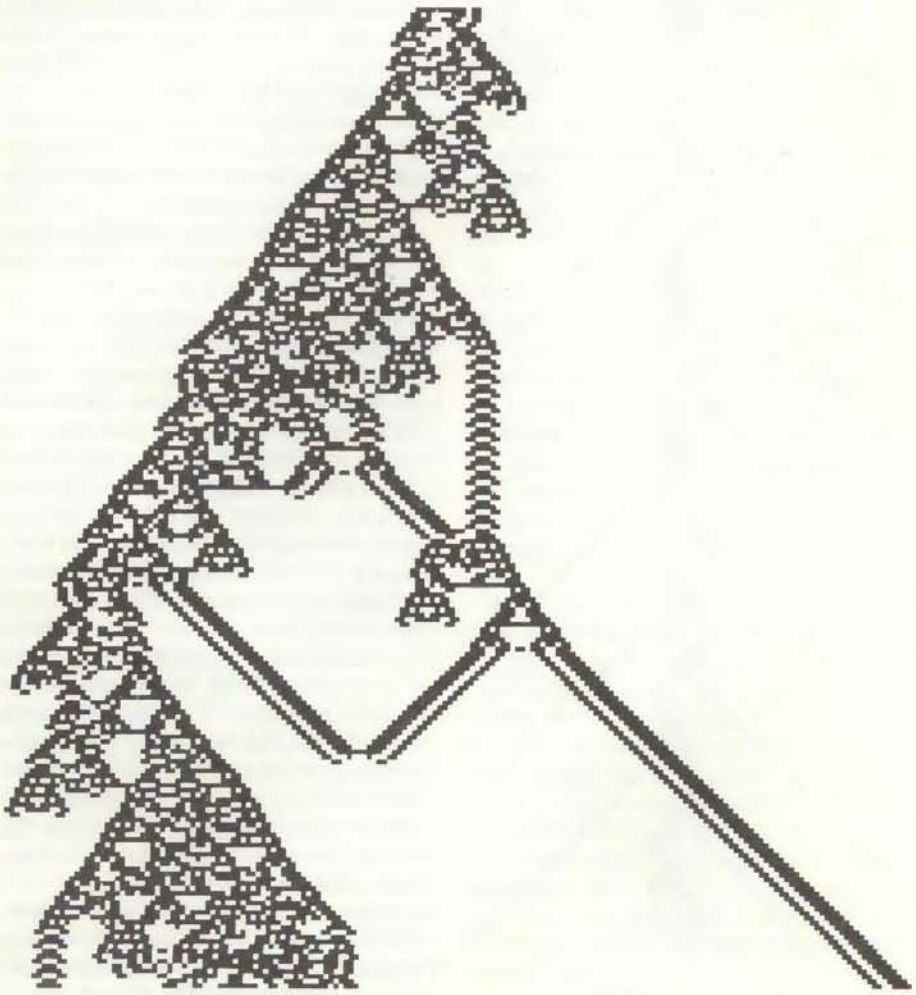
Существуют 64 способа, чтобы заполнить вторую строку таблицы. Каждый из этих способов приводит к построению какого-то одного, отличного от других автомата. Уолфрэм исследовал все 64 варианта. Разумеется, без помощи компьютера в таких исследованиях не обойтись. Чтобы определить поведение заданного автомата, Уолфрэм формирует исходную конфигурацию из ста клеток, состояния которых выбираются случайным образом, и следит за тем, как автомат начинает изменять картину. Для того чтобы исключить из рассмотрения огромные массивы нулей с каждой стороны от исходной конфигурации, Уолфрэм присоединяет левую часть структуры клеток к правой. Таким образом, клеточное пространство превращается в круг, а временна́я диаграмма изменений, претерпеваемых клетками, образует цилиндр. Однако результат остается тем же, как если бы исходная конфигурация клеток повторялась до бесконечности в обоих направлениях от начальной структуры. Во всяком случае, влияние автоматов на подобные случайные структуры клеток, оказывается удивительно однородным. Он может принадлежать к одному из четырех сравнительно широких классов, выделенных Уолфрэмом:

Класс 1. После конечного количества смены поколений исходная конфигурация-образ вырождается в единое однородное состояние по всему пространству.

Класс 2. Из исходной конфигурации возникают постоянные или периодические подобразы.

Класс 3. Не возникает никакой видимой структуры. Временные диаграммы выглядят хаотичными.

Класс 4. Из исходной конфигурации-образа возникают сложные локальные подобразы, среди которых встречаются долгоживущие.

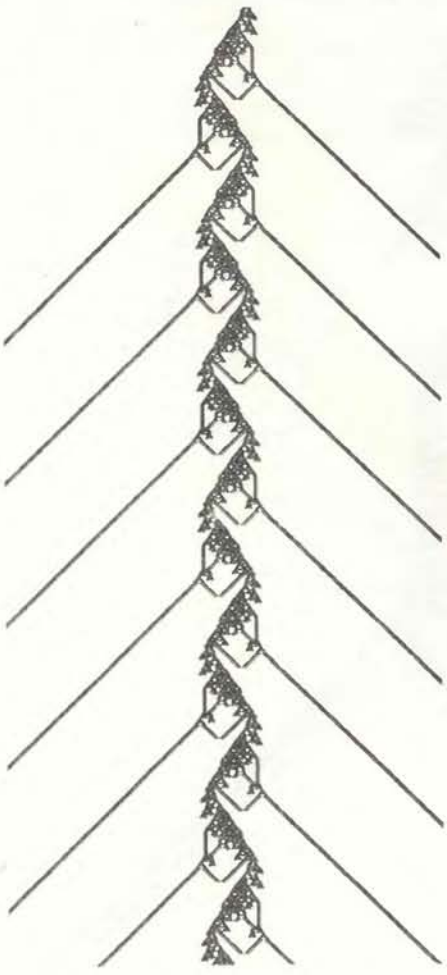


Фотография одномерной катапульты Дж. Парка

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Из 64 автоматов, у которых k и r равны 2, 25% относится к первому классу, 16% — ко второму, 53% — к третьему и только 6% — к четвертому классу. Уолфрэм подозревает, что компьютеры можно найти в четвертом классе. Например, автомат с кодовым числом 20 принадлежит именно четвертому классу.

Как бы обнадеживая Уолфрэма в его поисках, автомат с кодом 20 проявил способность порождать планеры. Их коды — 10111011 и 1001111011. Оба планера движутся в правом направлении. Тоталистические правила всегда симметричны — чтобы получить планеры, движущиеся влево, коды конфигураций, приведенные выше, следует переписать в обратном порядке. Существует ли в пространстве автомата-20 катапульта для запуска таких планеров? По мнению Уолфрэма, существует. Однако есть еще одно интересное пространство, где ему до сих пор не удалось найти даже планер! Это пространство с кодовым номером 792. Если записать это число в троичной системе счисления, то мы получим набор правил для автомата с тремя состояниями:



Катапульта Дж. Парка, запускающая планеры направо и налево

сумма	6	5	4	3	2	1	0
следующее состояние	1	0	0	2	1	0	0

При поиске планеров и катапульт полезным может оказаться специальное пособие. По моему совету Уолфрэм написал такое пособие. В нем представлен алгоритм, отыскивающий то, что Уолфрэм называет «устойчивыми структурами».

Поиск планеров и катапульт сконцентрирован на тех автоматах, которые, по мнению исследователей, потенциально обладают способностью к универсальным вычислениям. Другими словами, эти автоматы могут выполнять функции универсальной вычислительной машины. Кроме рассмотренных автоматов с кодовыми номерами 20 и 792 существует также автомат с двумя состояниями (r = 3, кодовый номер 88), для которого катапульта была найдена раньше.

Найти ее удалось Дж. Парку, когда он был еще студентом Принстонского университета. Чтобы увидеть катапульту Парка в действии, нужно написать простую программу для представления на экране дисплея поколений клеток, а также для вычисления следующей конфигурации по предыдущей. Написать такую программу, реализующую автомат-88, в общем несложно. Когда программа будет готова, введите исходную конфигурацию-образ 1111111111011 и понаблюдайте, как она начнет расширяться и сжиматься. Катапульта выпускает планеры в обоих направлениях через каждые 238 поколений.

Однако, вместо того чтобы моделировать какой-то один конкретный автомат, мы советуем читателям составить программу, которая принимала бы произвольные тоталистические правила в качестве входных данных. Это легко сделать как для фиксированных, так и для варьируемых значений k и r, т.е. когда k и r являются параметрами. При составлении программы следует воспользоваться специальным массивом *table* для правил, а также двумя линейными массивами *oldcells* и *newcells* соответственно для хранения старой и новой конфигураций клеток, которые участвуют в вычислениях, выполняемых в данный момент. Размер массивов может быть сколь угодно большим, однако следует иметь в виду, что на экране дисплея (в зависимости от его типа) может изображаться лишь какая-то ограниченная часть этих массивов. Выведите на экран возможно бо́льшую среднюю часть массива *newcells* и выполните следующие операции: перепишите содержимое массива *newcells* в массив *oldcells*; просмотрите в цикле массив *oldcells*, для каждого i-го элемента массива сложите значения элементов от $i - r$ до $i + r$; найдите значение полученной суммы в массиве *table* и запишите соответствующее данной сумме значение состояния на место i-го элемента массива *newcells*. Затем снова войдите в основной цикл, начинающийся с вывода картинки на экран, и повторите описанные выше этапы. На экране дисплея каждая новая картинка может появляться на новой строке или все время на одной и той же. В первом случае получается пространственно-временна́я диаграмма, во втором — нечто наподобие мультфильма в одном измерении.

Как уже отмечалось, автомат обладает способностью к универсальным вычислениям, если по мере смены поколений клеток некая исходная структура оказывается способной выполнять функции компьютера. Часть исходной структуры представляет собой входные данные, и соответственно другая ее часть, наблюдающаяся в некоторый более поздний момент, — выходные данные. Неужели можно действительно построить компьютер при помощи планеров, катапульт и других «устройств» на клеточной основе? Уолфрэм считает, что можно. У одного из исследуемых в настоящее время автоматов обнаружились планеры, проходящие через определенные стабильные подобразы. В связи с этим возникает надежда, что передаче информации в одномерном компьютере не будут мешать компоненты, не имеющие непосредственного отношения к этой информации. Помимо Уолфрэма одномерными автоматами занимаются и ряд других исследователей. Один из них — К. Стейглитц из Принстонского университета. Он обнаружил планеры, свойства которых подобны свойствам солитонов. Планеры подобного рода могут беспрепятственно проходить один через другой!

Удастся ли нам в конце концов найти устойчивые структуры, способные пересылать, хранить и обрабатывать информацию в одномерном клеточном пространстве? Может быть, и нет. Может оказаться, что вычислениям в одном измерении присуще какое-то особое свойство, которое заставит нас изменить сложившееся представление о вычислительном процессе.

Не ограничивая свою фантазию, Уолфрэм уже думает о том, как одномерные автоматы помогут нам понять поведение автоматов вообще и как это понимание автоматов в свою очередь позволит нам проникнуть в сущность природных процессов. Предположим, что удалось найти одномерный автомат, хорошо модели-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

рующий некий природный процесс, например турбулентное течение жидкости или газа, движение частиц, находящихся в силовом поле, или даже биологический процесс, такой, как рост. Предположим далее, что найденный автомат обладает способностью к универсальным вычислениям. Другими словами, в его пространстве не только содержится явная вычисляющая структура, но и некий скрытый, неявно заложенный в нем компьютер — любая попытка предсказать поведение автомата будет, по определению, равносильна предсказанию поведения универсальной вычислительной машины. Вообще говоря, это можно сделать лишь при помощи другого устройства того же рода, т.е. другой вычислительной машины. Это означает, что не существует никакого «короткого пути», позволяющего предсказать поведение соответствующей природной системы. Ее процессы будут несводимыми в вычислительном смысле, т.е. механизм, предсказывающий поведение системы (будь то формула или компьютер), должен будет моделировать рассматриваемую систему более или менее непосредственно.

Вернемся теперь к «Волне». Планеры исходной популяции движутся в произвольных направлениях, то и дело натыкаясь друг на друга. Иногда в результате столкновения появляется катапульта, порождающая новые планеры, иногда же столкновения не производят никакого эффекта. Это пространство напоминает мне миниатюрную одномерную вселенную, наполненную элементарными частицами, которые движутся как микроскопические волны. Таким образом, я как бы повернул поиск Уолфрэма в обратном направлении. Отправляясь от одномерного автомата, поведение которого в каком-то смысле напоминает систему частиц (правда, довольно своеобразных), я уверовал в то, что «Волна» обладает способностью к универсальным вычислениям. Поскольку это мой личный автомат, я могу оказаться единственным человеком, который в это верит.

СТАТЬЯ, посвященная аналоговым устройствам, которая была опубликована в августовском номере журнала «В мире науки» за 1984 г., вызвала такой поток отзывов, что к этой теме следует вернуться еще раз, хотя в ноябрьском номере журнала за 1984 г. мы уже говорили на эту тему.

Интересно то, что некоторые устройства, описания которых содержатся в письмах читателей, оказались практически полезными. К таким аналоговым устройствам можно отнести, например, систему, регулирующую атмосферные параметры. О ней написал Х. Клэй, инженер из Феникса (шт. Аризона). Как-то к Клэю обратились с просьбой изобрести какой-нибудь прибор, регулирующий температуру и влажность в печатающем устройстве. От этих параметров во многом зависит качество копировальной бумаги, которая используется для покрытия печатных валиков в типографских машинах. Опытный рабочий может без труда установить пригодность копировальной бумаги по ее внешнему виду и по тому, как она провисает. Если ее качество не соответствует норме, на бумаге образуются морщинки и трещинки, которые появляются в том случае, если температура и влажность не соответствуют требуемой величине. Клэй сконструировал устройство, которое измеряло температуру и влажность и регулировало эти параметры, включая и выключая увлажнитель. В течение какого-то времени система, по-видимому, работала исправно, но затем по неизвестным причинам она вышла из строя.

Когда Клэй снова пришел в типографию, чтобы проверить, как работает его система, инженер, лукаво улыбаясь, провел его к печатающему станку. То, что увидел Клэй, повергло его в изумление. «Моя регулирующая система была отключена. Вместо нее я увидел маленькую полоску копировальной бумаги, один конец которой был закреплен, а другой свободно свисал вниз. Когда полоска свисала «правильно», ее свободный конец замыкал пару контактов в схеме, включающей и выключающей увлажнитель». Заметив смущение Клэя, инженер добавил: «Работает как часы, мечта, а не устройство».

В 1948 г. Р. Хеппе из Фэрфакса (шт. Виргиния) был молодым специалистом, инженером-электронщиком, только что поступившим на работу на предприятие фирмы Sylvania Electric Products Company. Хеппе, помогавший конструировать электронные лучевые трубки, находил это занятие довольно скучным и утомительным. Для изготовления новой конструкции трубки вначале нужно было сделать чертеж со схематическим изображением электродов, сеток и пластинок, отклоняющих луч. По этому эскизу в единственном экземпляре изготовлялась трубка, которая затем испытывалась. Процесс занимал несколько дней. Руководитель группы, в которой работал Хеппе, Дж. Рич, чтобы повысить производительность, предложил некое аналоговое устройство.

Оно состояло из резинового листа, дюбеля, некоторого количества фанерных деталей и нескольких десятков зубочисток. Резиновый лист, натянутый на обруч, представлял поперечное сечение электронно-лучевой трубки, увеличенное в несколько раз. Роль катода играл деревянный дюбель, торчавший в середине листа. Из зубочисток выполнялись различные конструкции сеток. Сетки с отрицательным зарядом упирались в резинку снизу, образуя бугорки, а положительно заряженные сетки давили на резину сверху, образуя в ней ямки. Другие геометрические свойства трубки моделировались фанерными деталями, также прикладываемыми сверху или снизу. Поток электронов, излучаемых катодом, имитировался медленным высыпанием из банки горошин над дюбелем в центре листа. «Можно доказать, — пишет Хеппе, — что профиль резиновой поверхности в таком устройстве соответствует распределению напряженности электрического поля, а величина провалов или подъемов — напряжению между электродами... Скатывавшиеся по резиновой поверхности горошины скапливались либо на ровных местах, либо в ямках положительно заряженных сеток». Если нас не устраивало количество горошин, собирающихся у различных электродов, или путь, по которому они скатывались, мы передвигали декорации, изменяли их размеры и т.п. ... и ставили новый эксперимент. По конструкциям, которые удовлетворяли нашим требованиям, изготавливались уже настоящие трубки, испытывавшиеся затем в реальной работе».

Многие читатели привели другие примеры. Среди них следует отметить устройство, измеряющее твердые фракции в крови человека, изобретенное доктором А. Квасманом из Лома-Линды (шт. Калифорния). М. Сооп из Европейского космического агентства в Дармштадте (ФРГ) привел описание устройства из шнура, гвоздей и скрепок для бумаг. Устройство иллюстрирует аналоговое решение проблемы минимизации потребления горючего в спутнике при автоматическом управлении его ориентации при помощи ракетных движков.

В читательских письмах содержались описания и других устройств. Но все же самыми лучшими и самыми крупными аналоговыми устройствами являются аналоговые компьютеры. Они все еще существуют и работают в фирме Electronic Associates, Inc., производящей аналоговое оборудование. Меня даже пригласили на завод, с тем чтобы я на месте убедился, насколько эти машины превосходят те, о которых шла речь в нашей первой статье, посвященной аналоговым устройствам.